



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office européen  
des brevets

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02425541.6

Der Präsident des Europäischen Patentamts:  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

R C van Dijk

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



Anmeldung Nr:  
Application no.: 02425541.6  
Demande no:

Anmelde tag:  
Date of filing: 30.08.02  
Date de dépôt:

## Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

STMicroelectronics S.r.l.  
Via C. Olivetti, 2  
20041 Agrate Brianza (Milano)  
ITALIE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:  
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.  
If no title is shown please refer to the description.  
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)  
revendiquée(s)  
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/  
Classification internationale des brevets:

H04R3/00

Am Anmelde tag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of  
filling/Etats contractants désignés lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR

THIS PAGE BLANK (USPTO)

DISPOSITIVO E METODO DI FILTRAGGIO DI SEGNALI ELETTRICI, IN PARTICOLARE SEGNALI ACUSTICI

La presente invenzione riguarda un dispositivo e  
5 metodo di filtraggio di segnali elettrici, in particolare segnali acustici. L'invenzione è comunque applicabile anche a segnali in radiofrequenza, ad esempio provenienti da schiere di antenne, a segnali biomedicali e a segnali utilizzati nella geologia.

10 Come è noto, nei sistemi progettati per ricevere segnali che si propagano in un mezzo fisico, i segnali captati comprendono, oltre al segnale utile, componenti indesiderate. Le componenti indesiderate possono essere un qualsiasi tipo di rumore (bianco, flicker, ecc.) o  
15 altri tipi di segnali acustici sovrapposti al segnale utile.

Se il segnale utile e il segnale di interferenza occupano la stessa banda di frequenza temporale, il filtraggio temporale non può essere utilizzato per separarli. Tuttavia, il segnale utile e il segnale di interferenza hanno normalmente origine da differenti locazioni nello spazio. La separazione spaziale può quindi essere sfruttata per separare il segnale utile dai segnali di interferenza. La separazione spaziale viene  
25 effettuata per mezzo di un filtro spaziale, cioè basato

su una schiera di sensori.

Tecniche di filtraggio lineare vengono attualmente utilizzate nell'elaborazione di segnali per eseguire il filtraggio spaziale. Tali tecniche vengono ad esempio

5 applicate nei seguenti campi:

- radar (controllo di traffico aereo, per esempio);
- sonar (localizzazione e classificazione della sorgente)
- comunicazioni (trasmissione di settori in comunicazioni via satellite, per esempio);
- esplorazione astrofisica (rappresentazione ad altra risoluzione dell'universo)
- biomedicale (ausili dell'udito, per esempio).

10 Disponendo differenti sensori in diverse posizioni  
15 spaziali, si ottengono diversi campionamenti spaziali  
di uno stesso segnale.

Sono note diverse tecniche di filtraggio spaziale.  
La tecnica più semplice è chiamata "delay and sum beamformer" (formazione di fasci mediante ritardo e somma). Secondo tale tecnica, il gruppo di uscite dei  
20 sensori, raccolte in un istante particolare, svolgono un ruolo simile a quello di ingressi consecutivi intermedi ("consecutive tap inputs") in un filtro trasversale. Al proposito si veda B.D. Van Veen, K. M. Buckley  
25 "Beamforming: A Versatile Approach to Spatial Filter-

ring", IEEE ASSP MAGAZINE, April 1998, pagine 4-24.

La tecnica più nota di filtraggio è chiamata "multiple sidelobe canceller" (annullamento di lobi laterali multipli). Con questa tecnica, disponendo  $2N+1$  sensori in posizioni scelte in modo opportuno, legate alla direzione di interesse, un fascio particolare del gruppo viene identificato come fascio principale e i fasci rimanenti sono considerati fasci ausiliari. I fasci ausiliari sono pesati dal dispositivo di annullamento di lobi laterali multipli in modo da formare un fascio di cancellazione che è sottratto dal fascio principale. L'errore stimato risultante è ritornato al dispositivo di annullamento di lobi laterali multipli in modo da controllare le correzioni applicate ai suoi pesi regolabili.

I dispositivi di formazione di fasci più recenti eseguono un filtraggio adattativo. Questo richiede il calcolo della matrice di autocorrelazione per i segnali di ingresso. Varie tecniche sono utilizzate per calcolare i tappi o "taps" dei filtri FIR in corrispondenza di ciascun sensore. Tali tecniche sono tese ad ottimizzare una determinata grandezza fisica. Se si desidera ottimizzare il rapporto segnale/rumore, bisogna calcolare gli autovalori ("eigenvalues") della matrice di autocorrelazione. Se si pone la risposta in una data

direzione pari a 1, bisogna effettuare diverse operazioni matriciali. Di conseguenza, tutte queste tecniche richiedono un gran numero di calcoli, crescente con il numero di sensori.

5 Un altro problema che affigge i sistemi di fil-traggio spaziale finora proposti è legato al rilevamen-to dei cambiamenti nel rumore ambientale e nel raggrup-pamento ("clustering") di suoni e di scenari acustici. Tale problema può essere risolto utilizzando tecniche a 10 logica sfumata ("fuzzy logic techniques"). Infatti toni puri sono difficili da trovare in natura; più spesso si trovano suoni aventi densità spettrale di potenza arbi-traria mescolati fra loro. Il nostro cervello separa un suono dall'altro in tempo molto breve. La separazione 15 di un suono dall'altro è piuttosto lenta se viene ese-guita automaticamente.

Secondo studi esistenti, il nostro cervello esegue un riconoscimento dello scenario acustico in due modi: in un piano tempo-frequenza i toni sono raggruppati se 20 vicini temporalmente o in frequenza.

Tecniche di raggruppamento basate sulla logica fuzzy sono note in letteratura. Il punto di partenza è l'analisi tempo-frequenza. Per ciascun elemento tempo-frequenza in questa rappresentazione, viene estratta 25 una pluralità di caratteristiche ("features") che ca-

ratterizzano gli elementi nella regione tempo-frequenza di interesse. Il raggruppamento degli elementi con tali premesse consente di assegnare ciascun flusso auditivo ("auditory stream") ad un determinato cluster del piano  
5 tempo-frequenza.

Altre tecniche note in letteratura tendono a ottenere la discriminazione dei suoni mediante analisi del loro contenuto frequenziale. Allo scopo sono usate tecniche di valutazione del contenuto di armoniche, quali  
10 la misura di inarmonicità, la larghezza di banda, ecc.

La soluzione proposta, rispetto alle tecniche del secondo tipo, più largamente conosciute, si avvantaggia della analisi tempo-frequenza. Grazie a questa viene riprodotto nel modo più fedele e con un numero ridotto di calcoli il comportamento del nostro apparato  
15 auditivo. Il vantaggio rispetto alle tecniche del primo tipo è l'utilizzo di una rete neuro-fuzzy, per cui le regole fuzzy possono essere generate automaticamente durante l'allenamento su uno specifico segnale di target.  
20 Pertanto, grazie alla soluzione nota, non è necessaria alcuna conoscenza a priori del contenuto energetico delle regioni tempo-frequenza analizzate.

Scopo dell'invenzione è quindi mettere a disposizione un dispositivo e un metodo di filtraggio che ri-  
25 solva i problemi presentati dalle soluzioni note.

Secondo la presente invenzione vengono realizzati un dispositivo e metodo di filtraggio di segnali elettrici, come definiti nelle rivendicazioni 1 e, rispettivamente 24.

5 L'invenzione sfrutta la differente origine spaziale del segnale utile e del rumore per la soppressione del rumore stesso. In particolare, per semplificare la struttura di filtraggio e ridurre l'entità dei calcoli da effettuare, i segnali prelevati da due o più sensori 10 disposti il più possibile simmetricamente rispetto alla sorgente del segnale vengono filtrati utilizzando reti neuro-fuzzy; quindi i segnali dei diversi canali vengono sommati. In tal modo, il segnale utile viene amplificato, e il rumore e le interferenze vengono cortocircuitati.  
15

Secondo un altro aspetto dell'invenzione, le reti neuro-fuzzy utilizzano pesi che vengono ricavati tramite una rete di apprendimento che opera in tempo reale. Le reti neuro-fuzzy risolvono un problema cosiddetto 20 "supervised learning", in cui l'addestramento viene effettuato su una coppia di segnali: un segnale di ingresso e un segnale "target". L'uscita della rete di filtraggio viene confrontata con il segnale "target" e la loro distanza viene calcolata secondo un metrica 25 scelta opportunamente. Dopo la valutazione della di-

stanza, i pesi della rete neuro-fuzzy del filtro spaziale sono aggiornati e la procedura di apprendimento viene ripetuta un certo numero di volte. I pesi che forniscono migliori risultati sono poi utilizzati per  
5 il filtraggio spaziale.

Allo scopo di effettuare un apprendimento in tempo reale, viene utilizzata una finestra di campioni più piccola possibile, ma sufficientemente grande da consentire alla rete di determinare le principali caratteristiche temporali del segnale acustico di ingresso.  
10 Per esempio, per segnali di ingresso basati sulla voce umana, alla frequenza di campionamento di 11025 Hz, una finestra di 512 o 1024 campioni (corrispondente ad un intervallo di tempo di 90 o 45 msec) ha dato buoni risultati.  
15

Secondo un'ulteriore aspetto ancora dell'invenzione, è prevista una rete in grado di rilevare i cambiamenti nello "scenario acustico" esistente, tipicamente nel rumore ambientale. La rete, utilizzante anch'essa  
20 un filtro neuro-fuzzy, viene addestrata preferibilmente prima del funzionamento e, non appena rileva un cambiamento nel rumore ambiente, provoca l'attivazione della rete di addestramento, per ottenere l'adattatività alla nuova situazione.

25 Per la comprensione della presente invenzione ne

viene ora descritta una forma di realizzazione preferita, a puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 mostra uno schema a blocchi generale di una forma di realizzazione di un dispositivo di filtraggio secondo l'invenzione;
- la figura 2 mostra uno schema a blocchi più dettagliato dell'unità di filtraggio di figura 1;
- la figura 3 rappresenta la topologia di una parte dell'unità di filtraggio di figura 2;
- le figure 4 e 5a-5c sono rappresentazioni grafiche dell'elaborazione effettuata dall'unità di filtraggio di figura 2;
- la figura 6 mostra uno schema a blocchi più dettagliato dell'unità di addestramento di figura 1;
- la figura 7 mostra uno schema di flusso del funzionamento dell'unità di addestramento di figura 6;
- la figura 8 mostra uno schema a blocchi più dettagliato dell'unità di raggruppamento di scenario acustico di figura 1;
- la figura 9 mostra uno schema a blocchi più dettagliato di un blocco di figura 7;
- la figura 10 mostra la forma dei fuzzy set utilizzati dalla rete neuro-fuzzy dell'unità di raggruppamento di scenario acustico di figura 8; e

- la figura 11 mostra uno schema di flusso del funzionamento di un blocco di addestramento appartenente alla unità di raggruppamento di scenario acustico di figura 8.

5 In figura 1, un dispositivo di filtraggio 1 comprende una coppia di microfoni 2L, 2R, una unità di filtraggio spaziale 3, una unità di addestramento 4, una unità di raggruppamento di scenario acustico ("acoustic scenario clustering unit") 5 ed un'unità di  
10 controllo 6.

In dettaglio, i microfoni 2L, 2R (almeno due, ma possono essere previsti anche in numero maggiore) catturano dei segnali acustici di ingresso e generano due segnali di ingresso  $InL(i)$ ,  $InR(i)$  formati ciascuno da  
15 una pluralità di campioni, forniti all'unità di addestramento 4.

L'unità di addestramento 4, che opera in tempo reale, fornisce all'unità di filtraggio spaziale 3 due segnali da filtrare  $eL(i)$ ,  $eR(i)$ , qui indicati per semplicità con  $e(i)$ . Nella fase di filtraggio, i segnali da filtrare  $e(i)$  sono uguali ai segnali di ingresso  $InL(i)$ ,  $InR(i)$  e, nella fase di addestramento, sono formati dai segnali di ingresso a cui è sovrapposto del rumore, come in seguito spiegato con riferimento alla  
25 figura 7.

L'unità di filtraggio spaziale 3, la cui struttura e funzionamento verranno descritti in dettaglio in seguito con riferimento alle figure 2-5, filtra i segnali da filtrare  $e_L(i)$ ,  $e_R(i)$  e fornisce su un'uscita 7 un flusso di campioni costituente un segnale filtrato 5  $out(i)$ ; in particolare, il filtraggio, avente lo scopo di ridurre il rumore sovrapposto, tiene conto delle condizioni spaziali; a tal scopo, l'unità di filtraggio spaziale 3 utilizza una rete neuro-fuzzy utilizzante 10 dei pesi, indicati complessivamente con  $W$ , forniti dall'unità di addestramento 4. Durante la fase di addestramento, l'unità di filtraggio spaziale 3 fornisce all'unità di addestramento 4 il segnale filtrato 15  $out(i)$ . Preferibilmente, i pesi  $W$  utilizzati per il filtraggio vengono ottimizzati in base al tipo di rumore esistente. A tale scopo, l'unità di raggruppamento scenari acustici 5 elabora periodicamente o continuamente il segnale filtrato  $out(i)$  e, qualora rilevi un cambiamento dello scenario acustico, provoca l'attivazione 20 della unità di addestramento 4, come in seguito spiegato con riferimento alle figure 8-10.

L'attivazione e l'esecuzione delle differenti operazioni necessarie per l'addestramento e il rilevamento del cambiamento dello scenario acustico nonché per il 25 filtraggio vengono controllate dell'unità di controllo

6 che a tal scopo, scambia segnali e informazioni con le unità 3-5.

La figura 2 mostra lo schema a blocchi dell'unità di filtraggio spaziale 3.

5 In dettaglio, l'unità di filtraggio spaziale 3 comprende due canali 10L, 10R fra loro uguali riceventi i segnali da filtrare  $e_{L(i)}$  ed  $e_{R(i)}$  e le cui uscite  $o_{L(i)}$ ,  $o_{R(i)}$  vengono sommate in un sommatore 11; il segnale di uscita dal sommatore 11 viene riportato ai canali 10L, 10R per una seconda iterazione, prima di essere fornito in uscita come segnale filtrato  $out(i)$ . La doppia iterazione dei campioni di segnale è rappresentata in figura 2 schematicamente mediante interruttori 12L, 12R, 13 e commutatori 18L, 18R, 19L, 19R, comandati opportunamente dall'unità di controllo 6 di figura 1, in modo da ottenere il flusso desiderato dei campioni di uscita.

Ciascun canale 10L, 10R costituisce un filtro neuro-fuzzy comprendente, in cascata, un buffer di ingresso 14L, 14R, che memorizza una pluralità di campioni del rispettivo segnale da filtrare  $e_{L(i)}$  ed  $e_{R(i)}$ , definenti una finestra di lavoro ( $2N+1$  campioni, ad esempio, 9/11 campioni); un blocco di calcolo caratteristiche ("features") 15L, 15R, che calcola caratteristiche 25 di segnale  $X_{1L(i)}$ ,  $X_{2L(i)}$  e  $X_{3L(i)}$ , rispettivamente

X1R(i), X2R(i) e X3R(i) per ogni campione dei segnali da filtrare eL(i) ed eR(i); una rete neuro-fuzzy 16L, 16R che calcola pesi di ricostruzione oL3(i), oR3(i) sulla base delle caratteristiche e dei pesi W ricevuti dall'unità di addestramento 4; un'unità di ricostruzione 17L, 17R che genera segnali ricostruiti oL(i), oR(i) sulla base dei campioni del rispettivo segnale da filtrare eL(i) ed eR(i) e dei rispettivi pesi di ricostruzione oL3(i).

L'unità di filtraggio spaziale 3 funziona come segue. Inizialmente i commutatori 18L, 18R, 19L, 19R sono in posizione tale da fornire il segnale da filtrare ai blocchi di estrazione caratteristiche 15L, 15R e ai blocchi di ricostruzione segnale 17L, 17R; e gli interruttori 12L, 12R e 13 sono aperti. Quindi, i filtri neuro-fuzzy 10L, 10R calcolano i campioni dei segnali ricostruiti oL(i), oR(i), come sopra indicato.

Successivamente, il sommatore 24 somma i campioni dei segnali ricostruiti oL(i), oR(i), generando campioni del segnale somma secondo l'equazione:

$$\text{sum}(i) = \alpha oL(i) + \beta oR(i) \quad (1)$$

in cui  $\alpha$  e  $\beta$  sono costanti di valore opportuno che tengono conto delle caratteristiche di sistema, ad esempio, nel caso di canali simmetrici, essi sono pari a  $\frac{1}{2}$ . Viceversa se esiste uno sbilanciamento (uno dei

due microfoni 2L, 2R attenua maggiormente il segnale rispetto all'altro) è possibile modificare tali costanti in modo da compensare lo sbilanciamento stesso.

In seguito, i campioni del segnale somma  $\text{sum}(i)$  vengono alimentati in retroazione. A tale scopo, gli interruttori 12L, 12R e i commutatori 18L, 18R, 19L, 19R commutano. Viene quindi ripetuta l'elaborazione di calcolo delle caratteristiche  $X1L(i)$ ,  $X2L(i)$ ,  $X3L(i)$  e  $X1R(i)$ ,  $X2R(i)$ ,  $X3R(i)$ , calcolo dei pesi di ricostruzione  $\text{oL3}(i)$ ,  $\text{oR3}(i)$ , calcolo dei campioni dei segnali ricostruiti  $\text{oL}(i)$ ,  $\text{oR}(i)$  e loro somma operando sui campioni del segnale somma  $\text{sum}(i)$ . Dopo la somma dei segnali ricostruiti  $\text{oL}(i)$ ,  $\text{oR}(i)$  ottenuti nella seconda iterazione, utilizzando l'espressione (1), gli interruttori 12L, 12R e 13 commutano, per cui i campioni ottenuti vengono inviati in uscita come segnale filtrato  $\text{out}(i)$ .

I blocchi di estrazione caratteristiche 15L, 15R operano come descritto in dettaglio nella domanda i brevetto EP-A-1 211 636 a cui si rimanda. A grandi linee qui si segnala solamente che essi calcolano le derivate nel tempo e la differenza fra un campione iesimo nella rispettiva finestra di lavoro e la media di tutti i campioni della finestra secondo le equazioni

$$X1(i) = \frac{|i-N|}{N} \quad (2)$$

$$X2(i) = \frac{|e(i)-e(N)|}{\max(\text{diff})} \quad (3)$$

$$X3(i) = \frac{|e(i)-av|}{\max(\text{diff\_av})} \quad (4)$$

nelle quali sono stati omesse le lettere L e R riferite allo specifico canale e in cui N è la posizione di un campione centrale  $e(N)$  nella finestra di lavoro;

5  $\max(\text{diff}) = \max\{\dot{e}(k)-e(N)\}$  con  $k = 0, \dots, 2N$ , cioè il massimo delle differenze fra tutti i campioni di ingresso  $e(k)$  e il campione centrale  $e(N)$ ;

10  $av$  è il valore medio dei campioni di ingresso  $e(i)$ ;

$\max(\text{diff\_av}) = \max\{e(k)-av\}$  con  $k = 0, \dots, 2N$ , cioè il massimo delle differenze fra tutti i campioni di ingresso  $e(k)$  e il valore medio  $av$ .

15 Le reti neuro-fuzzy 16L, 16R sono reti fuzzy a tre strati descritte in dettaglio nella summenzionata domanda di brevetto (si vedano in particolare le figure 3a, 3b) e la cui rappresentazione funzionale è riportata in figura 3, nella quale, per semplicità, l'indice 20 (i) relativo allo specifico campione all'interno della rispettiva finestra di lavoro non è indicato, così come il canale L o R. L'elaborazione neuro-fuzzy rappresentata dalla figura 3 viene ripetuta per ogni campione di

ingresso  $e(i)$  di ciascun canale.

In dettaglio, a partire dalle tre caratteristiche di segnale  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  (o genericamente da  $l$  caratteristiche di segnale  $X_l$ ) e date  $k$  funzioni di appartenenza  
5 di tipo gaussiano per ogni caratteristica di segnale (descritte dal valore medio  $W_m(l,k)$  e dalla varianza  $W_v(l,k)$ ), viene eseguita una operazione di fuzzificazione nella quale viene valutato il livello di appartenenza delle caratteristiche di segnale  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  rispetto a ciascuna funzione di appartenenza (qui due per ogni caratteristica di segnale, per cui  $k=2$ ; in totale, si hanno  $M = l \times k = 6$  funzioni di appartenenza).  
10

In figura 3, tale operazione è rappresentata mediante sei neuroni di primo strato ("first layer neurons") 20 che, a partire dalle tre caratteristiche di segnale  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  (genericamente indicate come  $X_l$ ) e usando come pesi il valore medio  $W_m(l,k)$  e la varianza  $W_v(l,k)$  delle funzioni di appartenenza, forniscono ciascuno un'uscita di primo strato  $oL1(l,k)$  (in seguito 15 indicata anche come  $oL1(m)$ ) calcolata come segue:  
20

$$oL1(l,k) = oL1(m) = \exp\left(-\left(\frac{X_l - W_m(l,k)}{W_v(l,k)}\right)^2\right) \quad (5)$$

I pesi  $W_m(l,k)$  e  $W_v(l,k)$  vengono calcolati dalla rete di addestramento 4 e aggiornati in fase di addestramento, come sotto spiegato.

In seguito, viene effettuata una operazione AND fuzzy utilizzando la norma del minimo, in modo da ottenere N uscite di secondo strato  $oL2(n)$ .

In figura 3, tale operazione è rappresentata mediante N neuroni di secondo strato 21 che implementano l'equazione:

$$oL2(n) = \min_n \{W_{FA}(m,n) \cdot oL1(m)\} \quad (6)$$

in cui i pesi di secondo strato  $\{W_{FA}(m,n)\}$  sono inizializzati in modo casuale e non vengono aggiornati.

Infine, il terzo strato corrisponde ad un'operazione di defuzzificazione e fornisce in uscita un peso di ricostruzione  $oL3$  per ogni canale di tipo discreto, utilizzando N pesi di terzo strato  $W_{DF}(n)$ , anch'essi forniti dall'unità di addestramento 4 aggiornati in fase di addestramento. Il metodo di defuzzificazione è quello del centro di gravità ed è rappresentato in figura 3 mediante un neurone di terzo strato 22 fornente il peso di ricostruzione  $oL3$  secondo l'equazione:

$$oL3 = \frac{\sum_{n=1}^N W_{DF}(n) \cdot oL2(n)}{\sum_{n=1}^N oL2(n)} \quad (7)$$

Ciascuna unità di ricostruzione 17L, 17R attende quindi un sufficiente numero di campioni  $eL(i)$ , risp.  $ER(i)$  e di relativi pesi di ricostruzione  $oL3L(i)$ ,  $oL3R(i)$  (almeno  $2N+1$ , pari alla larghezza di una fine-

stra di lavoro) e calcola un rispettivo campione di uscita  $oL(i)$ ,  $oR(i)$  come somma pesata dei campioni di ingresso  $eL(i-j)$ ,  $eR(i-j)$ , con  $j = 0 \dots 2N$ , usando i pesi di ricostruzione  $oL3L(i-j)$ ,  $oL3R(i-j)$  secondo le 5 equazioni:

$$oL(i) = \frac{\sum_{j=0}^{2N} oL3L(i-j) \cdot eL(i-j)}{\sum_{j=0}^{2N} eL(i-j)} \quad (8)$$

$$oR(i) = \frac{\sum_{j=0}^{2N} oL3R(i-j) \cdot eR(i-j)}{\sum_{j=0}^{2N} eR(i-j)} \quad (9)$$

Per il funzionamento preciso di ciascun canale 10 10L, 10R dell'unità di filtraggio spaziale 3 e la sua implementazione integrata, si faccia riferimento alle figure 3a, 3b e 9 della summenzionata domanda di brevetto EP-A-1 211 636.

In pratica, l'unità di filtraggio spaziale 3 15 sfrutta il fatto che il rumore sovrapposto ad un segnale generato da una sorgente disposta simmetricamente rispetto ai microfoni 2L, 2R, ha probabilità nulla di giungere contemporaneamente ai due microfoni, ma in genere presenta, in uno dei due microfoni, un ritardo rispetto all'altro microfono. Di conseguenza la somma dei 20 segnali elaborati nei due canali 10L e 10R dell'unità

di filtraggio spaziale 3 porta ad un rafforzamento del segnale utile e ad un cortocircuito o reciproco annientamento del rumore.

Tale comportamento è rappresentato graficamente  
5 nelle figure 4 e 5a-5c.

In figura 4, una sorgente di segnale 25 è disposta simmetricamente rispetto ai due microfoni 2L, 2R, mentre una sorgente di rumore 26 è disposta casualmente, qui più vicina al microfono 2R. I segnali captati dai  
10 microfoni 2R, 2L (scomposti nel segnale utile s e nel rumore n) sono mostrati nelle figure 5a e 5b, rispettivamente. Come si nota, il rumore n captato dal microfono 2L più lontano è ritardato rispetto al rumore n captato dal microfono 2R più vicino. Di conseguenza, il  
15 segnale somma, mostrato in figura 5c, mostra il segnale utile s1 inalterato (utilizzando come coefficienti di somma  $\frac{1}{2}$ ) e il rumore n1 praticamente annullato.

La figura 6 mostra lo schema a blocchi dell'unità di addestramento 4 avente lo scopo di memorizzare e ag-  
20 giornare i pesi utilizzati dalle reti neuro-fuzzy 16L,  
16R di figura 2.

L'unità di addestramento 4 ha due ingressi 30L e 30R collegati con i microfoni 2L, 2R e con primi ingressi 31L, 31R di due interruttori 32L, 32R appartenenti ad un'unità di commutazione 33. Gli ingressi 30L,

30R dell'unità di addestramento 4 sono inoltre collegati a primi ingressi di rispettivi sommatori 34L, 34R aventi secondi ingressi collegati ad una memoria target 35. Le uscite dei sommatori 34L, 34R sono collegate a 5 secondi ingressi 36L, 36R degli interruttori 32L, 32R. Le uscite degli interruttori 32L, 32R sono collegate all'unità di filtraggio spaziale 3 cui forniscono i campioni dei segnali da filtrare  $e_L(i)$ ,  $e_R(i)$ .

L'unità di addestramento 4 comprende inoltre una 10 memoria pesi correnti 40 collegata bidirezionalmente con l'unità di filtraggio spaziale 3 e con una memoria pesi migliori 41; la memoria pesi correnti 40 riceve inoltre numeri casuali da un generatore numeri casuali 42. La memoria pesi correnti 40, la memoria pesi migliori 41 e il generatore di numeri casuali 42, così come l'unità di commutazione 33 sono controllati dall'unità di controllo 6, nel modo descritto qui di seguito.

La memoria target 35 ha un'uscita collegata con 20 un'unità di valutazione conformità o "fitness" 44 avente un ingresso collegato ad una memoria campioni 45 che riceve i campioni del segnale filtrato  $out(i)$ ; l'unità di calcolo fitness 44 ha un'uscita collegata con l'unità di controllo 6.

25 L'unità di addestramento 4 comprende infine un

contatore 46 ed una memoria fitness migliore 47, collegati bidirezionalmente con l'unità di controllo 6.

La memoria target 35 è una RAM (Random Access Memory) che contiene un numero prefissato (da 100 a 1000) di campioni di un segnale target. I campioni del segnale target sono prefissati o possono essere modificati in tempo reale e vengono scelti in base al tipo di rumore che si vuole filtrare (rumore bianco, rumore flicker, suoni particolari quali rumore dovuto ad un motore di un autoveicolo o a un campanello. Analogamente, la memoria pesi correnti 40, la memoria pesi migliori 41, la memoria campioni 45 e memoria fitness migliore 47 sono delle RAM di dimensioni opportune.

Il funzionamento dell'unità di addestramento 4 viene ora descritto con riferimento alla figura 7. Durante il funzionamento normale del dispositivo di filtraggio 1, l'unità di controllo 6 comanda l'unità di commutazione 33 in modo che i campioni del segnale di ingresso InL(i), InR(i) vengano forniti direttamente alla unità di filtraggio spaziale 3 (passo 100).

Non appena l'unità di raggruppamento scenari acustici 5 rileva il cambiamento dello scenario acustico, come in seguito descritto in dettaglio, uscita Si dal passo di verifica 102, l'unità di controllo 6 attiva l'unità di addestramento 4 in modalità real time. In

particolare, qualora sia prevista la modifica dei campioni del segnale target, l'unità di controllo 6 comanda il caricamento di tali campioni nella memoria target 35, passo 104. I campioni del segnale target sono scelti fra quelli memorizzati in una memoria non mostrata, che memorizza i campioni di differenti tipi di rumore. I campioni del segnale target vengono quindi forniti ai sommatori 34L, 34R che li sommano ai campioni del segnale di ingresso InL(i), InR(i) e l'unità di commutazione 33 viene commutata in modo da fornire all'unità di filtraggio spaziale 3 i campioni in uscita dai sommatori 34L, 34R, passo 106. Inoltre, l'unità di controllo 6 azzera la memoria pesi correnti 40, la memoria pesi migliori 41, la memoria fitness migliore 47 e il contatore 46, passo 108. Quindi essa attiva il generatore numeri casuali 42 affinché questo generi 24 pesi (pari al numero di pesi necessari alla unità di filtraggio spaziale 3) e comanda la memorizzazione dei numeri casuali generati nella memoria pesi correnti 40, passo 110.

I pesi appena generati casualmente vengono forniti all'unità di filtraggio spaziale 3 che li utilizza per il calcolo dei campioni del segnale filtrato out(i), passo 112. Ciascun campione del segnale filtrato out(i) 25 che viene generato viene memorizzato nella memoria cam-

pioni 45. Non appena è stato memorizzato un numero previsto di campioni del segnale filtrato  $out(i)$ , ad esempio 100, essi vengono forniti alla unità di calcolo fitness 44 insieme ad altrettanti campioni del segnale target, forniti dalla memoria target 35.

Quindi, passo 114, l'unità di calcolo fitness 44 calcola l'energia dei campioni del rumore  $out(i) - tgt(i)$  e l'energia dei campioni del segnale target  $tgt(i)$  secondo le relazioni:

$$10 \quad P_n = \sum_{i=0}^{NW} [out(i) - tgt(i)]^2 \quad (10)$$

$$P_{tgt} = \sum_{i=0}^{NW} [tgt(i)]^2 \quad (11)$$

in cui NW è il numero di campioni previsto, ad esempio 100.

In seguito, l'unità di calcolo fitness 44 calcola 15 la funzione di fitness, ad esempio il rapporto segnale-rumore SNR come

$$SNR = \frac{P_{tgt}}{P_n} \quad (12)$$

Il valore di fitness appena calcolato viene fornito all'unità di calcolo 6. Se il valore di fitness appena calcolato è il primo, esso viene scritto nella memoria fitness migliore 47 e i relativi pesi vengono scritti nella memoria pesi migliori 41, passo 120; viceversa, se la memoria fitness migliore 47 contiene già un valore di fitness precedente (uscita NO dal passo di

verifica 116), il valore appena calcolato viene confrontato con il valore memorizzato, passo 118. Se il valore appena calcolato è migliore (maggiore) del valore memorizzato, esso viene scritto nella memoria  
5 fitness migliore 47 sopra al valore precedente e i pesi appena utilizzati dall'unità di filtraggio spaziale 3 e memorizzati nella memoria pesi correnti 40 vengono scritti nella memoria pesi migliori 41, passo 120.

Al termine, così come nel caso di fitness appena calcolata meno buona (minore) del valore memorizzato nella memoria fitness migliore 47, il contatore 46 viene incrementato, passo 122.

Vengono quindi ripetute le operazioni di generazione di nuovi pesi casuali, calcolo di nuovi campioni 15 del segnale filtrato  $out(i)$ , calcolo e confronto della nuova fitness con il valore precedentemente memorizzato fino al raggiungimento del numero di iterazioni o generazioni previste. Al termine, uscita SI dal passo di verifica 124, i pesi memorizzati come pesi migliori 20 nella memoria pesi migliori 41 vengono riscritti nella memoria pesi correnti 40 e utilizzati per il calcolo dei campioni del segnale filtrato  $out(i)$  fino all'attivazione successiva dell'unità di addestramento 4.

La figura 8 mostra lo schema a blocchi dell'unità 25 di raggruppamento scenari acustici 5.

L'unità di raggruppamento scenari acustici 5 comprende una memoria campioni filtrati 50, ricevente i campioni del segnale filtrato  $out(i)$  man mano che questi vengono generati dall'unità di filtraggio spaziale 5 3 e ne memorizza un numero prefissato, ad esempio 512 o 1024. Non appena è presente il numero prefissato di campioni, questi vengono forniti ad un blocco di divisione sottobande 51 (la cui struttura è ad esempio mostrata in figura 9).

10 Il blocco di divisione sottobande 51 divide i campioni del segnale filtrato in una pluralità di sottobande di campioni, ad esempio otto sottobande  $out1(i)$ ,  $out2(i)$ , ...,  $out8(i)$ , che tengono conto delle caratteristiche uditive dell'orecchio umano. In particolare, 15 ciascuna sottobanda è legata alle bande critiche dell'orecchio, ovvero alle bande all'interno delle quali l'orecchio non è in grado di distinguere i componenti spettrali.

Le diverse sottobande vengono quindi fornite ad un 20 blocco di calcolo caratteristiche 53. Le caratteristiche delle sottobande  $out1(i)$ ,  $out2(i)$ , ...,  $out8(i)$  sono ad esempio l'energia delle sottobande stesse, come somma dei quadrati dei singoli campioni di ciascuna sottobanda. Nell'esempio indicato si ottengono quindi otto 25 caratteristiche  $Y1(i)$ ,  $Y2(i)$ , ...  $Y8(i)$  che vengono for-

nite ad una rete neuro-fuzzy 54, topologicamente simile alle reti neuro-fuzzy 16L, 16R di figura 2, e quindi strutturata analogamente a quanto mostrato in figura 3, tranne per il fatto di prevedere otto neuroni di primo  
5 strato (analoghi ai neuroni 20 di figura 3, uno per ogni feature) collegati a n neuroni di secondo strato (analoghi ai neuroni 21, in cui n può essere pari a 2, 3 o 4), a loro volta collegati ad un neurone di terzo strato (analogo al neurone 22) e di prevedere differen-  
10 ti regole di attivazione del primo strato utilizzanti l'energia media dei campioni filtrati nella finestra considerata, come in seguito descritto.

Per il filtraggio, la rete neuro-fuzzy 54 utilizza dei fuzzy set e dei pesi clustering memorizzati in una  
15 memoria clustering 56.

La rete neuro-fuzzy 54 fornisce in uscita campioni acusticamente pesati  $e1(i)$  forniti ad un blocco di de-terminazione cambio scenario acustico 55.

Durante la fase di allenamento dell'unità di rag-  
20 gruppamento scenari acustici 5, è attivo inoltre un blocco di addestramento clustering 57 che, allo scopo, riceve sia i campioni del segnale filtrato  $out(i)$ , sia i campioni acusticamente pesati  $e1(i)$ , come sotto de- scritto in dettaglio.

25 Il blocco di determinazione cambio scenario acu-

stico 55 è sostanzialmente una memoria che, sulla base  
dei campioni acusticamente pesati  $e_1(i)$ , genera in  
uscita un segnale binario  $s$  (fornito all'unità di con-  
trollo 6) il cui valore logico indica se è cambiato lo  
5 scenario acustico e quindi determina o meno l'attiva-  
zione dell'unità di addestramento 4 (e interviene quin-  
di nel passo di verifica 102 di figura 7).

Il blocco di divisione sottobande 51 utilizza un  
banco di filtri formato da filtri a specchio in quadra-  
10 tura ("quadrature mirror filters"). Una possibile im-  
plementazione è mostrata in figura 9, nella quale il  
segnale filtrato  $out(t)$  viene inizialmente fornito a  
due primi filtri 60, 61, rispettivamente di tipo passa-  
basso e passa-alto, e quindi viene ridotto di campioni  
15 o decimato ("downsampled") in due prime unità di ridu-  
zione campioni 62, 63 ("subsampler") che scartano i  
campioni dispari dal segnale in uscita dal rispettivo  
filtro 60, 61 e mantengono solo i rispettivi campioni  
pari. Le sequenze di campioni così ottenute sono forni-  
20 te ciascuna a due filtri, rispettivamente di tipo pas-  
sa-basso e passa alto (e quindi complessivamente a  
quattro secondi filtri 64-67). Le uscite dei secondi  
filtri 64-67 sono quindi fornite a quattro seconde uni-  
tà di riduzione campioni 68-71 e ciascuna sequenza co-  
25 si ottenuta viene fornita a due terzi filtri, rispetti-

vamente di tipo passa-basso e passa alto (e quindi complessivamente a quattro terzi filtri 72-79), generando otto sequenze di campioni. Le otto sequenze di campioni sono infine fornite a otto terze unità di riduzione 5 campioni 80-87.

La rete neuro-fuzzy 54, come si è detto, è del tipo mostrato in figura 3, nella quale i set fuzzy utilizzati nella fase di fuzzificazione (valori di attivazione degli otto neuroni di primo livello) sono funzioni triangolari del tipo mostrato in figura 10. In particolare, come si nota, il set fuzzy "HIGH" è centrato intorno al valore medio  $\bar{E}$  dell'energia di una finestra di campioni del segnale filtrato  $out(i)$  ottenuta in fase di allenamento; il set fuzzy "QHIGH" è centrato intorno a metà del valore medio dell'energia ( $\bar{E}/2$ ) e il set fuzzy "LOW" è centrato intorno a un decimo del valore medio dell'energia ( $\bar{E}/10$ ). A ciascun neurone del primo strato viene quindi assegnato, prima della fase di allenamento dell'unità di raggruppamento scenari acustici 5, uno dei fuzzy set di figura 10, in modo che, complessivamente, ci sia una scelta abbastanza completa di tutti i tipi di fuzzy set (LOW, QHIGH, HIGH). Ad esempio, dati otto neuroni di primo strato 20, due di essi possono utilizzare il fuzzy set LOW, 25 due il fuzzy set QHIGH, e quattro il fuzzy set HIGH.

Analiticamente, i fuzzy set possono essere espressi come segue:

$$\begin{aligned} \frac{10}{\bar{E}} x & \quad \text{for} \quad 0 \leq x \leq \frac{\bar{E}}{10} & & \text{LOW} \\ 1 - x \frac{10}{\bar{E}} & \quad \text{for} \quad \frac{\bar{E}}{10} < x \leq \frac{\bar{E}}{5} \\ \frac{2}{\bar{E}} x & \quad \text{for} \quad 0 \leq x \leq \frac{\bar{E}}{2} & & Q-HIGH \quad (13) \\ 1-x \frac{2}{\bar{E}} & \quad \text{for} \quad \frac{\bar{E}}{2} < x \leq \bar{E} \\ \frac{2}{\bar{E}} x + \frac{E}{2} & \quad \text{for} \quad \frac{\bar{E}}{2} \leq x \leq \bar{E} & & HIGH \\ \frac{\bar{E}}{2} + 1 - x \frac{2}{\bar{E}} & \quad \text{for} \quad \bar{E} < x \leq \frac{3}{2} \bar{E} \end{aligned}$$

5

La fuzzificazione avviene quindi calcolando, per ciascuna feature  $Y_1(i)$ ,  $Y_2(i)$ , ...  $Y_8(i)$  il valore del corrispondente set fuzzy, in base alle (13). Anche in questo caso, è possibile utilizzare valori tabulati e memorizzati nella memoria cluster 56 oppure eseguire il calcolo in tempo reale mediante interpolazione lineare, una volta note le coordinate dei vertici dei triangoli che rappresentano gli insiemi fuzzy.

Il blocco di determinazione cambio scenario acustico 55 accumula o semplicemente conta i campioni acu-

15

sticamente pesati  $e1(i)$  e, dopo avere ricevuto un numero prefissato di campioni acusticamente pesati  $e1(i)$  (tipicamente pari ad una finestra di lavoro, cioè 512 o 1024 campioni) discretizza l'ultimo. In alternativa,  
5 esso può calcolare il valore medio dei campioni acusticamente pesati  $e1(i)$  di una finestra e discretizzare quest'ultimo. Di conseguenza, se ad esempio il segnale digitale  $s = 0$ , ciò significa che non deve essere attivata l'unità di addestramento 4, mentre se  $s = 1$ , deve  
10 essere attivata l'unità di addestramento 4.

Il blocco di addestramento clustering 57 viene utilizzato, come indicato, solo off-line, prima dell'attivazione del dispositivo di filtraggio 1. A tale scopo, esso calcola l'energia media  $\bar{E}$  dei campioni del segnale filtrato  $out(i)$  nella finestra considerata,  
15 calcolando il quadrato di ciascun campione, sommando i quadrati calcolati e dividendo il risultato per il numero di campioni. Inoltre esso genera gli altri pesi in modo casuale ed usa un algoritmo di random search, simile a quello descritto in dettaglio per l'unità di addestramento 4.  
20

In particolare, come mostrato nello schema di flusso di figura 11, dopo il calcolo dell'energia media  $\bar{E}$  dei campioni del segnale filtrato  $out(i)$ , passo 200,  
25 il calcolo dei baricentri dei fuzzy set (pari a  $\bar{E}$ ,  $\bar{E}/2$

e  $\bar{E}/10$ ), passo 202, e la generazione degli altri pesi in modo casuale, passo 204, la rete neuro-fuzzy 54 determina i campioni acusticamente pesati  $e1(i)$ , passo 206.

5 Dopo l'accumulo di un numero sufficiente di campioni acusticamente pesati  $e1(i)$  pari ad una finestra di lavoro, il blocco di addestramento clustering 57 calcola una funzione di fitness utilizzando ad esempio la seguente relazione:

10 
$$F = \sum_{i=1}^N (Tg(i) \otimes e1(i)) \quad (14)$$

in cui N è il numero di campioni nella finestra di lavoro,  $Tg(i)$  è un campione (di valore binario) di una funzione target memorizzata in una apposita memoria e  $e1(i)$  sono i campioni acusticamente pesati, passo 208.

15 In pratica, l'unità di addestramento clustering 57 esegue una somma esclusiva o EXOR fra i campioni acusticamente pesati e i campioni della funzione di target.

Le operazioni descritte vengono quindi ripetute un prefissato numero di volte, verificando se la funzione 20 di fitness appena calcolata è migliore delle precedenti (passo 209) e in tal caso memorizzando i pesi utilizzati e la relativa funzione di fitness (passo 210), analogamente a quanto descritto con riferimento alla unità di addestramento 4. Al termine, uscita SI dal passo 25 212, la memoria pesi clustering 56 viene caricata con i

baricentri dei fuzzy set e con i pesi che hanno fornito la migliore fitness, passo 214.

I vantaggi ottenibili con il metodo e il dispositivo di filtraggio descritti sono i seguenti. In primo luogo, l'unità di filtraggio consente, con una struttura relativamente semplice, la soppressione o almeno la riduzione considerevole del rumore avente origine spaziale differente rispetto al segnale utile. Il filtraggio può essere eseguito con un onere computazionale molto inferiore rispetto alle soluzioni finora note, consentendo l'implementazione dell'invenzione anche in sistemi con capacità di elaborazione non spinte. I calcoli eseguiti dalle reti neuro-fuzzy 16L, 16R e 54 possono essere eseguiti mediante unità hardware apposite, come descritto nella domanda EP-A-1 211 636, e quindi senza appesantire l'unità di controllo 6.

L'aggiornamento in tempo reale dei pesi utilizzati per il filtraggio consente al sistema di adattarsi in tempo reale alle variazioni di rumore (e/o di segnale utile) esistenti, fornendo quindi una soluzione particolarmente flessibile e affidabile nel tempo.

La presenza di un'unità di monitoraggio del rumore ambientale, in grado di attivare la rete di autoapprendimento quando rileva una variazione del rumore consente l'adattamento tempestivo alle condizioni esistenti,

limitando l'esecuzione delle operazioni di apprendimento e modifica dei pesi solo quando la condizione ambientale lo richiede.

Risulta infine chiaro che al dispositivo e metodo  
5 qui descritti ed illustrati possono essere apportate numerose modifiche e varianti, tutte rientranti nell'ambito del concetto inventivo, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Ad esempio, l'allenamento della unità di raggruppamento scenari acustici può avvenire, invece che prima 10 dell'attivazione del filtraggio, anche in tempo reale.

L'attivazione della fase di addestramento può avvenire in istanti prefissati, non determinati dalla unità di raggruppamento scenari acustici.

15 Inoltre il corretto flusso di campioni nell'unità di filtraggio spaziale 3 può avvenire, invece che tramite interruttori, in modo software, caricando opportunamente registri opportuni.

## RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo di filtraggio di segnali elettrici, comprendente più ingressi (2L, 2R) disposti spazialmente distanziati e fornenti rispettive pluralità di campioni di segnale di ingresso, ed un'uscita dispositivo (7), fornente una pluralità di campioni di segnale filtrato, caratterizzato dal fatto di comprendere:

più canali di trattamento segnali (10L, 10R), ciascun canale di trattamento segnali essendo formato da un filtro neuro-fuzzy ricevente una rispettiva pluralità di campioni di segnale di ingresso e generante una rispettiva pluralità di campioni ricostruiti,

mezzi sommatori (11), riceventi dette pluralità di campioni ricostruiti ed aventi un'uscita fornente detta pluralità di campioni di segnale filtrato.

2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, comprendente inoltre mezzi di instradamento (12L, 12R, 13, 18L, 18R, 19L, 19R), collegati a detta uscita di detti mezzi sommatori (11) e comandati in modo da alimentare dapprima detti campioni di segnale filtrato all'interno a detti canali di trattamento segnali (10L, 10R), e alimentare successivamente detti campioni di segnale filtrato a detta uscita dispositivo (7).

3. Dispositivo secondo la rivendicazione 2, in cui ciascun filtro neuro-fuzzy (10L, 10R) comprende:

un ingresso campioni (18L, 18R), ricevente alternativamente detti campioni di segnale di ingresso e detti campioni di segnale filtrato e fornente campioni di segnale da filtrare;

5 mezzi di calcolo caratteristiche di segnale (15L, 15R), riceventi una rispettiva pluralità di campioni da filtrare e generanti caratteristiche di segnale ( $X_1(i)$ ,  $X_2(i)$ ,  $X_3(i)$ );

10 una rete neuro-fuzzy (16L, 16R), ricevente dette caratteristiche di segnale e generante pesi di ricostruzione ( $\alpha_{L3}(i)$ ); e

15 mezzi di ricostruzione segnale (17L, 17R), riceventi detti campioni da filtrare  $e(i)$  e detti pesi di ricostruzione ( $\alpha_{L3}(i)$ ) e generanti detti campioni ricostruiti ( $\alpha_L(i)$ ,  $\alpha_R(i)$ ) a partire da detti campioni da filtrare e detti pesi di ricostruzione.

4. Dispositivo secondo la rivendicazione 2 o 3, in cui detti mezzi di calcolo caratteristiche di segnale (15L, 15R) generano, per ogni detto campione da filtrare ( $e(i)$ ), una prima caratteristica di segnale ( $X_1(i)$ ) correlata ad una posizione di un campione da filtrare in una finestra di campioni lavoro; una seconda caratteristica di segnale ( $X_2(i)$ ) correlata alla differenza fra detto campione da filtrare ed un campione centrale 25 in detta finestra di campioni di lavoro; e una terza

caratteristica di segnale ( $X_3(i)$ ) correlata alla differenza fra detto campione da filtrare ed un valore medio di campione in detta finestra di campioni di lavoro.

5. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-4, comprendente inoltre una memoria pesi correnti (40), collegata a detti filtri neuro-fuzzy (10L, 10R) e memorizzante pesi di filtraggio.

10. Dispositivo secondo la rivendicazione 5, comprendente inoltre una unità di addestramento pesi (4), in grado di calcolare in tempo reale detti pesi di filtraggio.

15. Dispositivo secondo la rivendicazione 6, in cui detta unità di addestramento pesi (4) comprende un'unità di alimentazione segnale training (33-35) fornente un segnale di training avente una componente di rumore nota; un'unità di alimentazione pesi (42) fornente pesi di addestramento; un'unità di filtraggio spaziale (3) ricevente detto segnale di training e detti pesi di addestramento e fornente in uscita un segnale filtrato di 20 addestramento; un'unità di elaborazione (44) di detto segnale training e detto segnale filtrato di addestramento e generante un valore di fitness; il dispositivo comprendendo inoltre un'unità di controllo (6), comandante ripetutamente detta unità di addestramento pesi e 25 ricevente ripetutamente detto valore di fitness, detta

unità di controllo memorizzando i pesi di addestramento aventi migliore valore di fitness in detta memoria pesi correnti (40).

8. Dispositivo secondo la rivendicazione 7, in cui  
5 detta unità di alimentazione segnale training (33-35) comprende una memoria campioni rumore (35) memorizzante una pluralità di campioni rumore e più sommatori (34L, 34R), uno per ogni ingresso (2L, 2R) di detto dispositivo, ciascun sommatore ricevendo una rispettiva pluralità di campioni di segnale di ingresso e detti campioni rumore e fornendo su una propria uscita una rispettiva pluralità di segnali di training.

9. Dispositivo secondo la rivendicazione 7 o 8,  
comprendente inoltre un'unità di commutazione (33)  
15 avente più elementi commutatori (32L, 32R), uno per ogni canale di trattamento segnali (10L, 10R), ciascun elemento commutatore avendo un primo ingresso collegato ad un rispettivo ingresso (2L, 2R) del dispositivo, un secondo ingresso collegato all'uscita di un rispettivo sommatore, ed una propria uscita collegata ad un rispettivo canale di trattamento segnali.

10. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 7-9, in cui detta unità di alimentazione pesi comprende un generatore di numeri casuali (42).

25 11. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivend-

dicazioni 8-10, in cui detta unità di elaborazione (44) comprende mezzi di calcolo di una grandezza di fitness correlata al rapporto segnale/rumore fra detto segnale filtrato di addestramento e detti campioni rumore.

5        12. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 7-11, comprendente una memoria migliori fitness (47) memorizzante un valore di fitness migliore ed una memoria pesi migliori, in cui detta unità di controllo (6) comprende mezzi di confronto (118) di 10 detto valore di fitness fornito da detta unità di elaborazione (44) e detto valore di fitness migliore (47) e mezzi di scrittura (120) scrivente detta memoria migliori fitness con detto valore di fitness e detta memoria pesi migliori (41) con corrispondenti pesi di addestramento qualora detto valore di fitness fornito da 15 detta unità di elaborazione sia migliore di detto valore di fitness migliore.

13. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 5-12, comprendente inoltre un'unità di riconoscimento di cambiamenti scenario acustico (5), ricevente detti campioni di segnale filtrato.

14. Dispositivo secondo la rivendicazione 13, in cui detta unità di riconoscimento di cambiamenti scenario acustico (5) comprende un blocco di divisione sottobande (51) ricevente detti campioni di segnale fil-

trato da detta uscita dispositivo (7) e generante una pluralità di gruppi di campioni; un'unità di estrazione caratteristiche (53), calcolante caratteristiche di ciascun gruppo di campioni; una rete neuro-fuzzy (54),  
5 generante campioni acusticamente pesati ( $e_1(i)$ ); ed un'unità di decisione cambiamento scenario (55) ricevente detti campioni acusticamente pesati e generante in uscita un segnale di attivazione di detta unità di addestramento pesi (4).

10 15. Dispositivo secondo la rivendicazione 14, in cui detto blocco di divisione sottobande (51) comprende una pluralità di stadi di divisione ("splitting stage") (60-87) disposti in cascata fra loro.

15 16. Dispositivo secondo la rivendicazione 15, in cui detti stadi di divisione (60-87) comprendono ciascuno un primo ed un secondo filtro (60, 61, 64-67, 72-79) fra loro in quadratura, riceventi un flusso di campioni da dividere e generanti ciascuno un rispettivo flusso di campioni divisi e una prima ed una seconda unità a riduttore di campioni ("downsampler unit") (62, 63, 68-71, 80-87) ricevente ciascuna un rispettivo detto flusso di campioni divisi.

20 25 17. Dispositivo secondo la rivendicazione 16, in cui detto primo filtro di detti stadi di divisione (60-87) è un filtro passa-basso e detto secondo filtro di

detti stadi di divisione (60-87) è un filtro passa-basso.

18. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivedicazioni 14-17, in cui detta unità di estrazione caratteristiche (53) calcola l'energia di ciascun gruppo di campioni.

19. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivedicazioni 14-18, in cui detta rete neuro-fuzzy (54) comprende:

10       neuroni di fuzzificazione (20), riceventi dette caratteristiche di segnale ( $Y_1(i)$ ,  $Y_2(i)$ ,  $Y_3(i)$ ) e generanti uscite di primo strato ( $o_{L1}$ ) costituenti un livello di confidenza di dette caratteristiche di segnale rispetto a funzioni di appartenenza di tipo triangolare;

15       neuroni di fuzzy AND (21), riceventi dette uscite di primo strato e generanti uscite di secondo strato ( $o_{L2}$ ) derivanti da regole fuzzy; e

20       un neurone di defuzzificazione (22), ricevente dette uscite di secondo strato e generanti un campione acusticamente pesato ( $e_1$ ) per ogni detto campione filtrato ( $out(i)$ ) utilizzando il criterio del centro di gravità.

25       20. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivedicazioni 14-19, in cui detta unità di decisione cam-

biamento scenario (55) genera detto segnale di attivazione mediante digitalizzazione di almeno uno di detti campioni acusticamente pesati (el).

21. Dispositivo secondo la rivendicazione 19 o 20,  
5 comprendente inoltre una rete di addestramento clustering (57) avente un primo ingresso ricevente detti campioni di segnale filtrato da detta uscita dispositivo (7), un secondo ingresso ricevente detti campioni acusticamente pesati (el), ed un'uscita collegata ad una  
10 memoria pesi clustering (56), detta rete di addestramento clustering (57) comprendendo:

mezzi di calcolo energia (200) calcolanti l'energia media di detti campioni di segnale filtrato in una prefissata finestra di lavoro;

15 mezzi di calcolo baricentro (202) determinanti baricentri di dette funzioni di appartenenza in funzione di detta energia media, detti mezzi di calcolo baricentro essendo collegati e fornendo detti baricentri a detti neuroni di fuzzificazione (20);

20 mezzi generatori casuali (206) generanti casualmente pesi per detti neuroni di secondo e terzo strato (21, 22);

mezzi di calcolo fitness (208) calcolanti una funzione di fitness a partire da detti campioni di segnale  
25 filtrato e campioni di un segnale target;

mezzi di confronto fitness (209) confrontanti detta funzione di fitness calcolata con un precedente valore memorizzato;

mezzi di memorizzazione (210) di detta funzione di fitness, detti baricentri e detti pesi qualora detta funzione di fitness calcolata sia migliore di detto precedente valore memorizzato;

mezzi di attivazione successiva (212) di detti mezzi di calcolo energia (200), di calcolo baricentro (202), generatori casuali (206), di confronto fitness (209) e di memorizzazione.

22. Unità di addestramento pesi (4), secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 6-12.

23. Unità di riconoscimento di cambiamenti scenario acustico (5), secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 13-21.

24. Metodo di filtraggio di segnali elettrici, comprendente le fasi di:

ricevere una pluralità di flussi di campioni di segnale da filtrare, e

generare una pluralità di campioni di segnale filtrato, caratterizzato dal fatto che detta fase di generare comprende le fasi di:

filtrare ciascun flusso di campioni di segnale da filtrare tramite un rispettivo filtro neuro-fuzzy (10L,

10R) per generare una pluralità di flussi di campioni ricostruiti,

sommare detta pluralità di flussi di campioni ricostruiti per ottenere campioni di segnale sommati.

5        25. Metodo secondo la rivendicazione 24, comprendente le fasi di fornire detti campioni di segnale sommati a detti filtri neuro-fuzzy (10L, 10R), ripetere dette fasi di filtrare e sommare, per ottenere detti campioni di segnale filtrato e fornire in uscita (7)  
10        detti campioni di segnale filtrato.

26. Metodo secondo la rivendicazione 24 o 25, comprendente inoltre una fase di addestramento pesi includente le fasi di: alimentare un segnale di training avente una componente di rumore nota; fornire pesi di  
15        filtraggio a detti filtri neuro-fuzzy (10L, 10R); filtrare detti campioni di segnale da filtrare, ottenendo un segnale filtrato di addestramento; calcolare un valore di fitness corrente a partire da detti campioni di segnale filtrato di addestramento; confrontare detto  
20        valore di fitness con un precedente valore di fitness e memorizzare detto valore di fitness e detti pesi di filtraggio se detto valore di fitness corrente è migliore di detto valore di fitness precedente.

27. Metodo secondo la rivendicazione 26, in cui  
25        detta fase di fornire comprende generare casualmente

detti pesi di filtraggio.

28. Metodo secondo la rivendicazione 27, in cui dette fasi di generare casualmente detti pesi di filtraggio, filtrare, calcolare un valore di fitness corrente, confrontare e memorizzare vengono ripetute un prefissato numero di volte.

29. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 26-28, in cui detta fase di alimentare un segnale di training comprende sommare a detti campioni di segnale filtrato una pluralità di campioni rumore.

30. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 26-29, comprendente una fase di riconoscere cambiamenti scenario acustico in detti campioni di segnale filtrato ed attivare detta fase di addestramento.

31. Metodo secondo la rivendicazione 30, in cui detta fase di riconoscere comprende dividere detti campioni di segnale filtrato in una pluralità di sottobande; filtrare dette sottobande tramite filtri neuro-fuzzy di clustering (54) per ottenere un segnale acusticamente pesato; e attivare detta fase di addestramento se detto segnale acusticamente pesato presenta un prefissato valore.

32. Metodo secondo la rivendicazione 31, in cui detta fase di dividere comprende filtrare dette sottobande utilizzando filtri (60, 61, 64-67, 72-79) aventi

banda passante correlata a bande critiche per l'orecchio umano.

33. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 30-32, comprendente inoltre una fase di addestramento clustering e includente le fasi di:

calcolare l'energia media di detti campioni di segnale filtrato in una prefissata finestra di lavoro;

determinare baricentri di funzioni di appartenenza di detti filtri neuro-fuzzy di clustering in funzione di detta energia media;

calcolare una funzione di fitness a partire da detti campioni di segnale filtrato e campioni di un segnale target;

confrontare detta funzione di fitness con un precedente valore memorizzato;

memorizzare (210) detta funzione di fitness e detti baricentri qualora detta funzione di fitness calcolata sia migliore di detto precedente valore memorizzato.

## RIASSUNTO

Un dispositivo di filtraggio di segnali elettrici ha più ingressi (2L, 2R) disposti spazialmente distanziati e fornenti rispettive pluralità di campioni di segnale di ingresso. Più canali di trattamento segnali (10L, 10R), ciascuno formato da un filtro neuro-fuzzy, ricevono una rispettiva pluralità di campioni di segnale di ingresso, e generano una rispettiva pluralità di campioni ricostruiti. Un sommatore (11) riceve le pluralità di campioni ricostruiti e li somma, fornendo una pluralità di campioni di segnale filtrato. In tal modo, componenti di rumore vengono corto-circuitate. Quando attivata da un'unità di riconoscimento cambiamenti di scenario acustico (5), un'unità di addestramento (4) calcola i pesi dei filtri neuro-fuzzy, ottimizzandoli rispetto al rumore esistente.

Figura 1

THIS PAGE BLANK (USPTO)

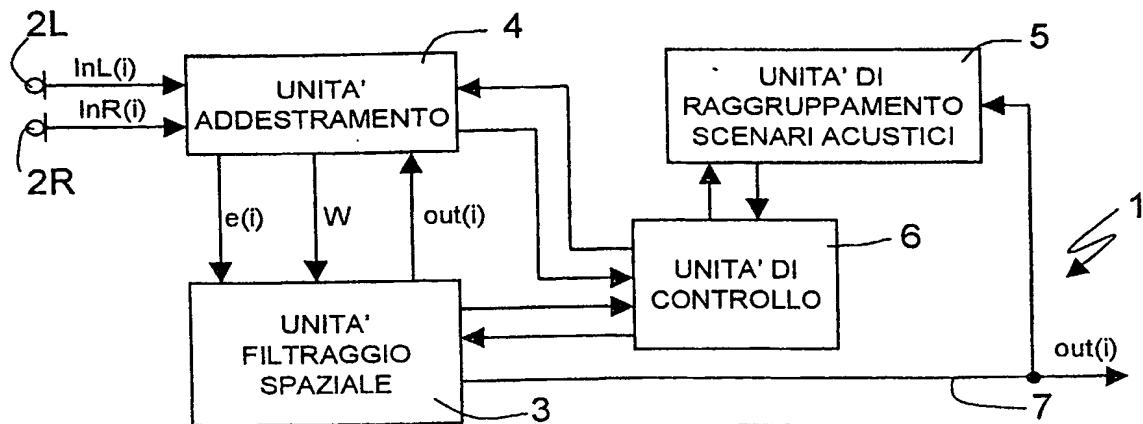


Fig.1

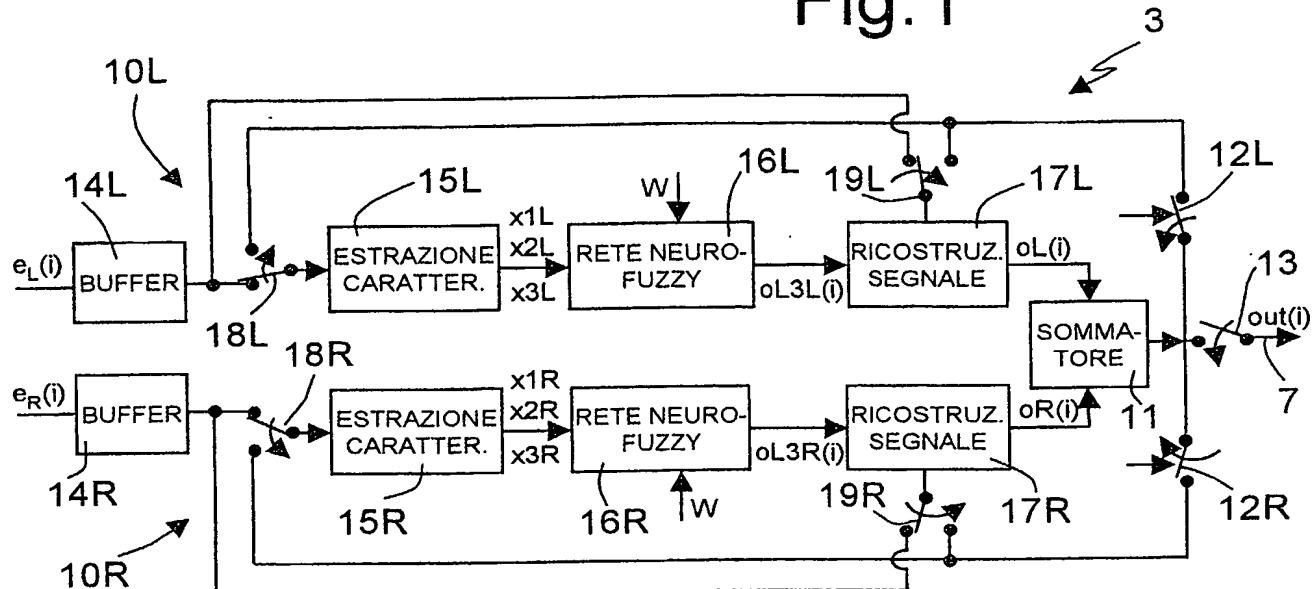


Fig.2

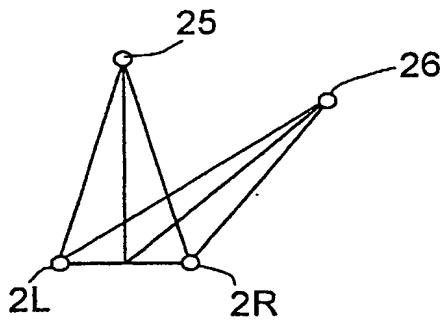
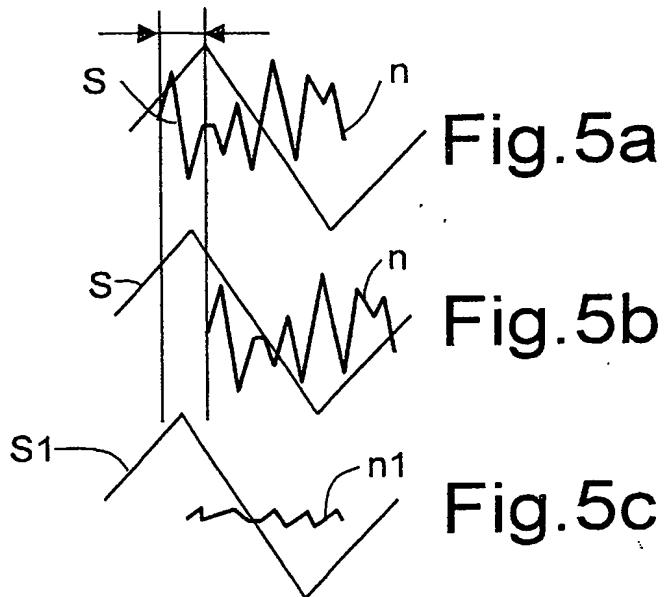


Fig.4



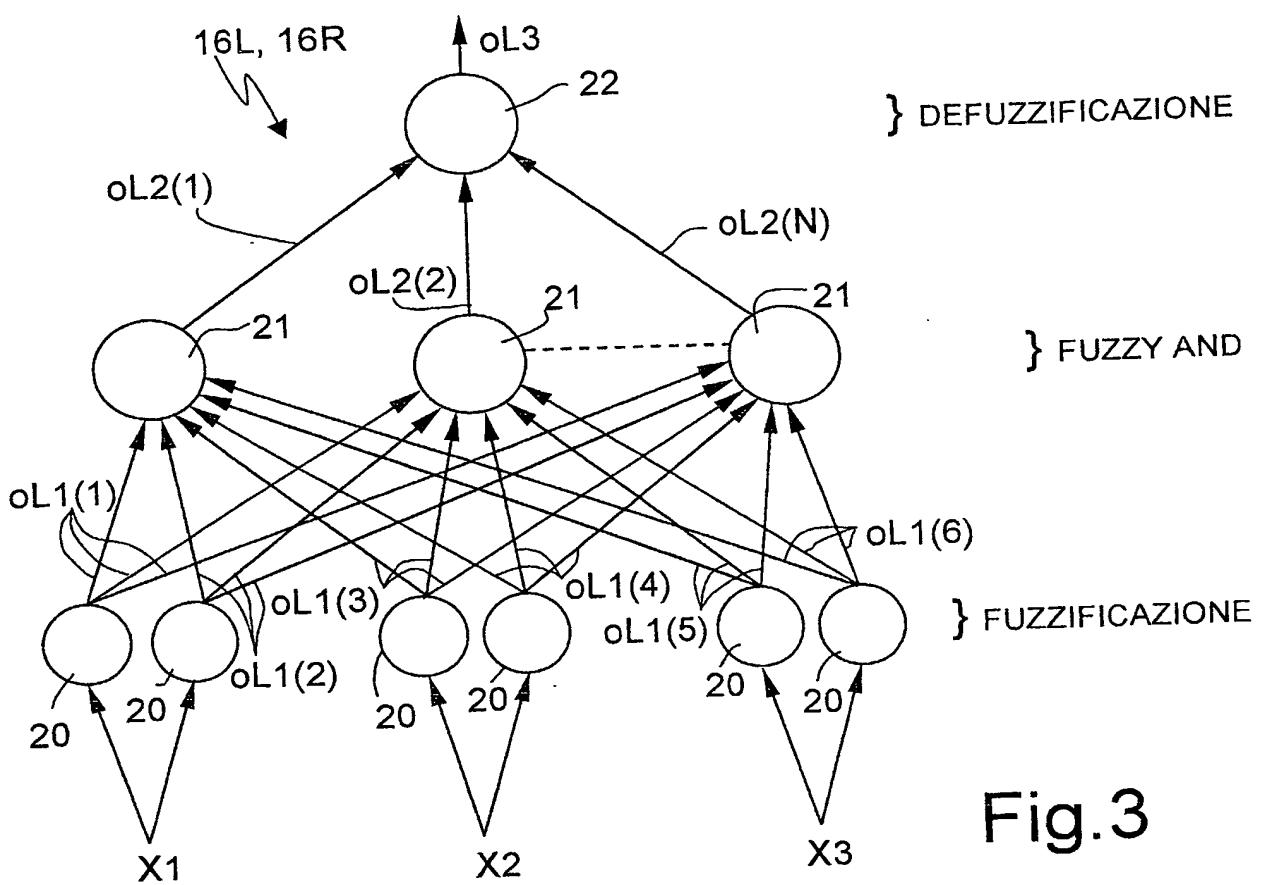


Fig.3

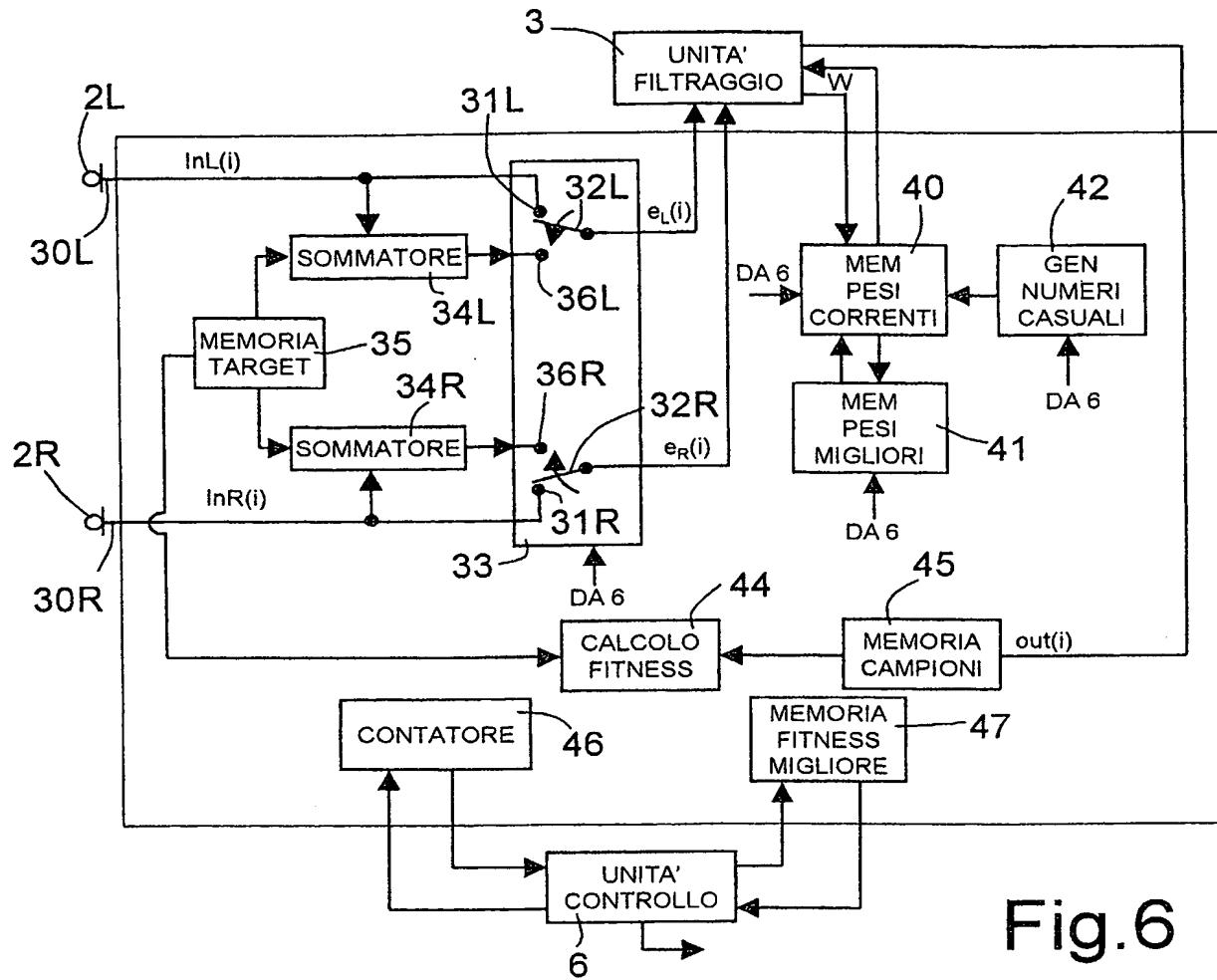


Fig.6

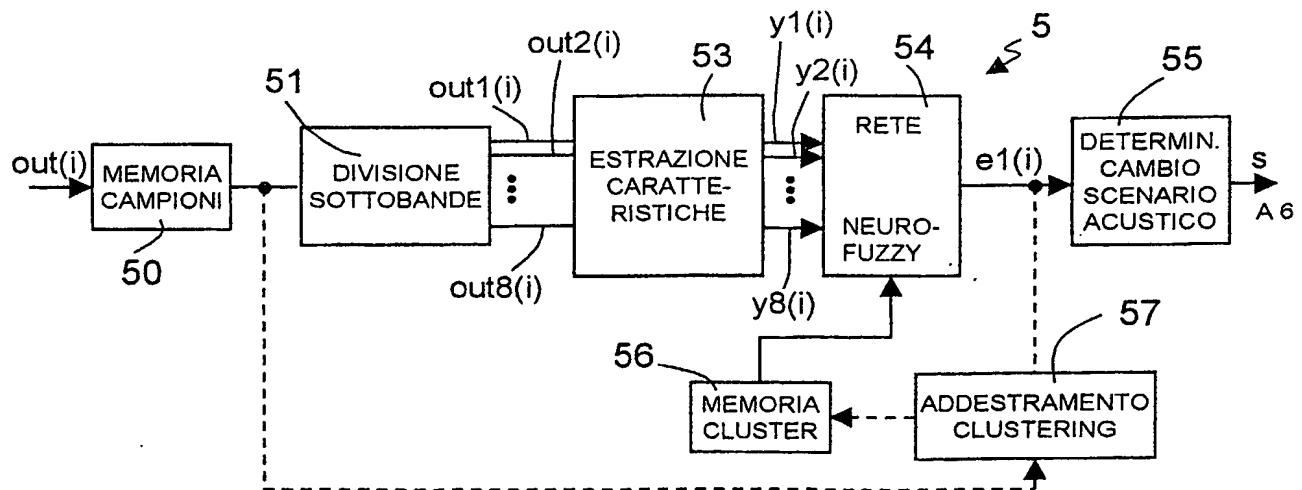


Fig.8

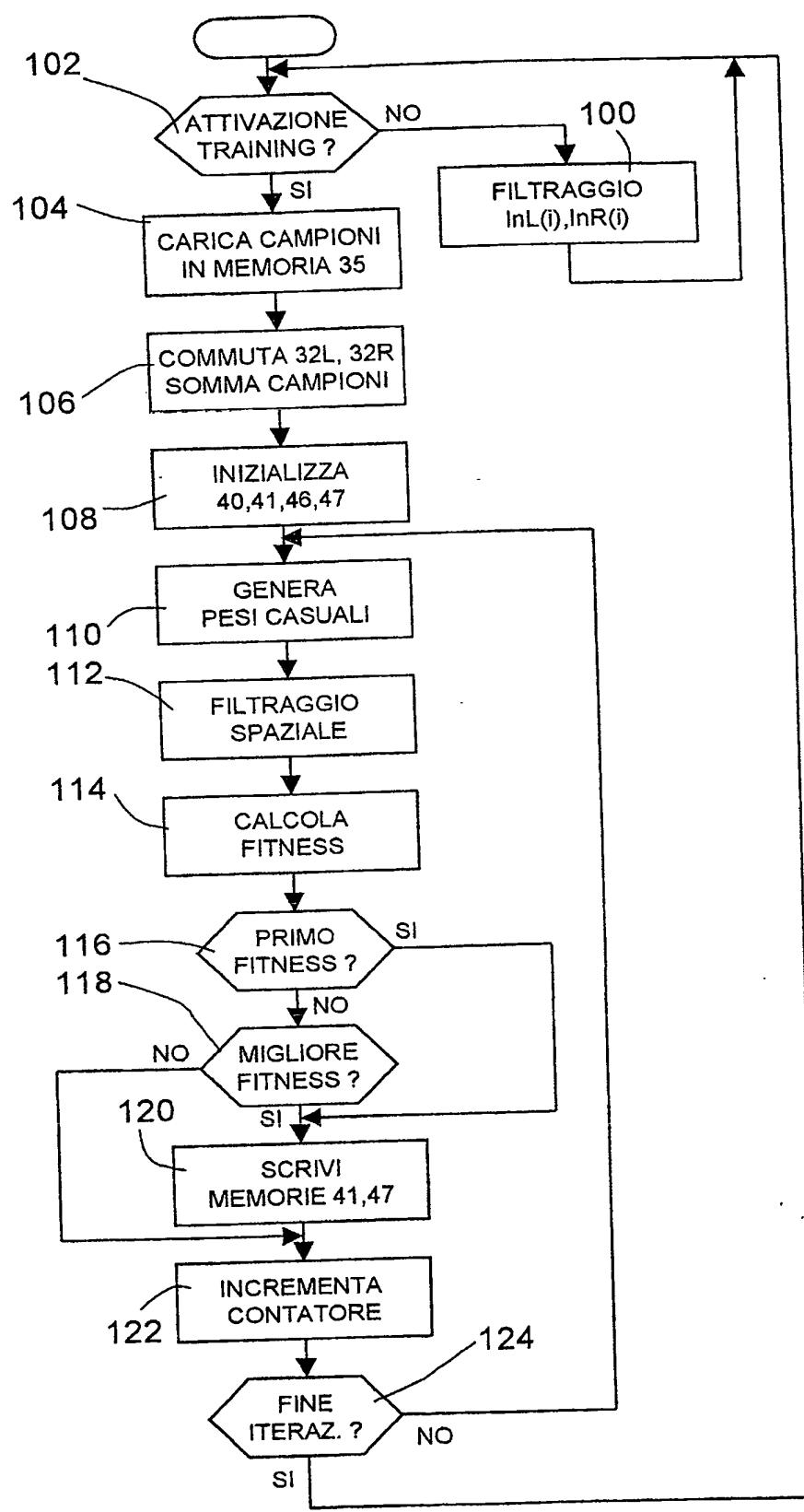


Fig.7

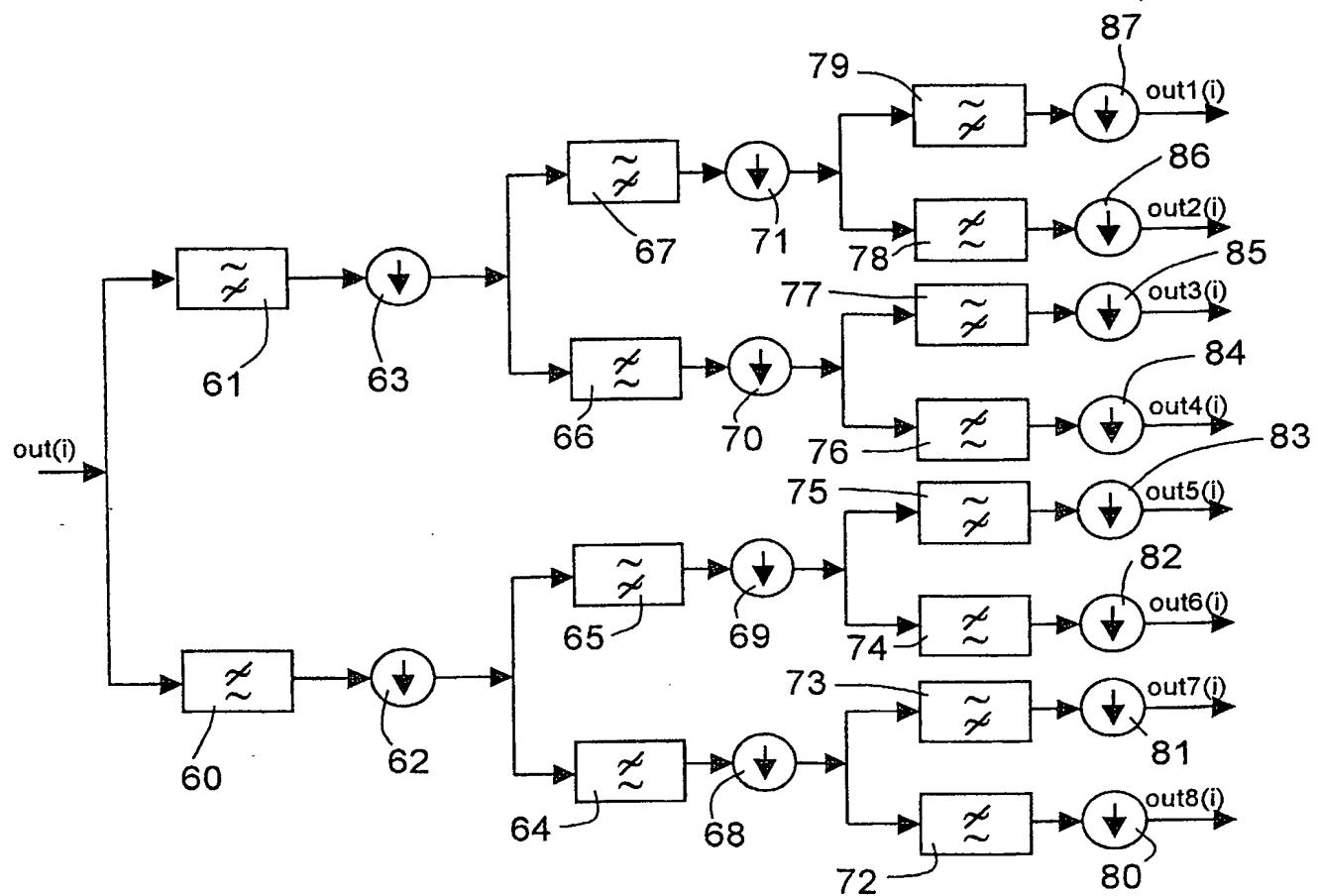


Fig.9

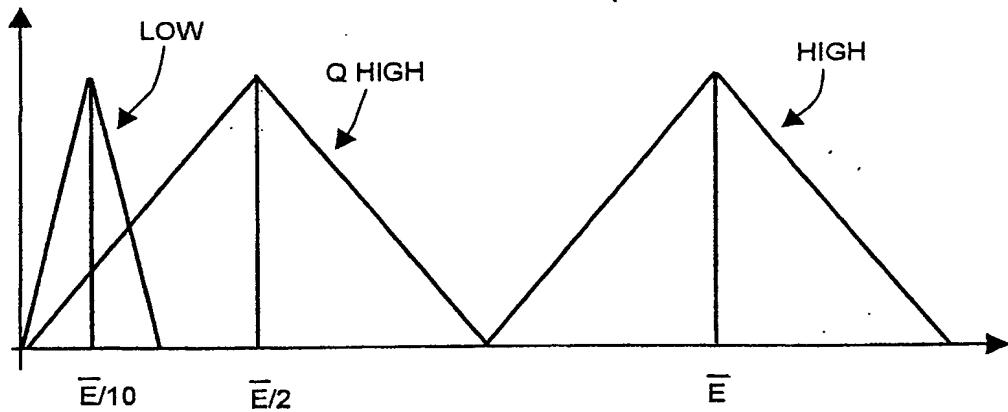


Fig.10

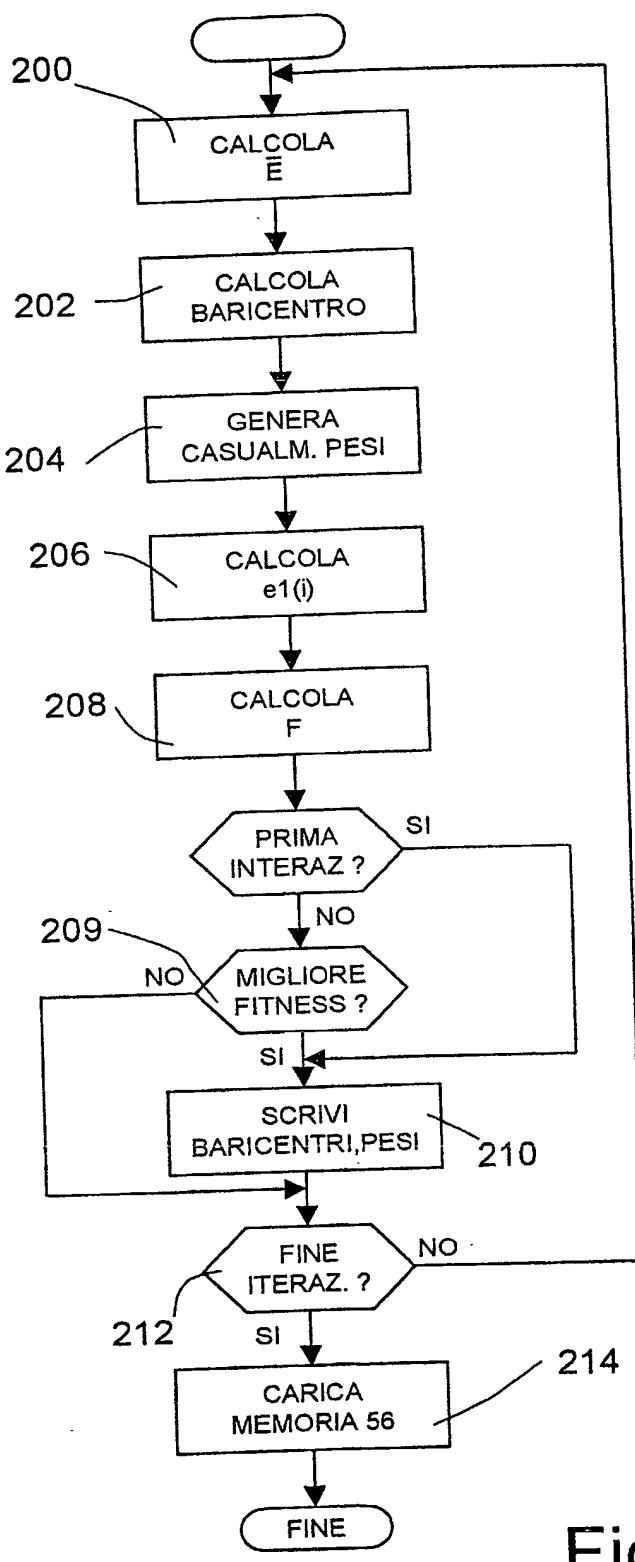


Fig.11